

农产品贮藏加工

BioSuee 膜对葡萄品质的影响及其降解性能研究

刘清竹¹, 路帆¹, 田全明², 杜雨星¹, 魏佳², 马会师³, 吴斌²

(1.新疆农业大学 食品科学与药学学院, 乌鲁木齐 830001; 2.新疆农业科学院农产品贮藏加工所, 乌鲁木齐 830001; 3.常州百利基生物材料科技有限公司, 江苏 常州 213200)

摘要: **目的** 探究 BioSuee 可降解膜对鲜食葡萄采后的保鲜作用, 以及在贮藏过程中的降解性能, 筛选出保鲜及降解效果较好的 BioSuee 膜材料。**方法** 以新疆无核白葡萄为实验材料, 采用 3 种不同厚度的 BioSuee 膜 (B4、B5、B6) 及 PE 保鲜膜进行包装, 在 (15±1) °C 条件下贮藏 14 d; 将膜分别放置在自然条件和土壤中 140 d 进行观察。通过分析葡萄的生理品质、包装膜内的气体成分和降解情况, 探讨 BioSuee 膜对葡萄贮藏品质的影响, 以及其自身的降解情况。**结果** 采用 BioSuee 膜处理均可较好地保持果实的采后品质, 且具有较好的降解效果, B4 膜的降解率为 84.7%, B5 膜的降解率为 81.22%, B6 膜的降解率为 92.8%。在贮藏结束时, B6 膜处理组葡萄果实的质量损失率为 7.62%, 腐烂率为 8.8%, 分别为 PE 贮藏组果实的 75.37% 和 28.33%; 无核白葡萄果实的可溶性固形物含量为 18.8%, 硬度为 4.94 N, 与 PE 贮藏组相比分别提高了 20.44% 和 10.46%。在贮藏中后期, B6 膜包装中 CO₂ 的体积分数为 3.5%~4%, O₂ 的体积分数在 16.6%~16.7% 间波动。在降解结束时, 土壤环境中 B6 膜的质量损失率和断裂伸长率分别为 12.64% 和 6.84%, 表面形态和微观结构均出现了明显的破碎和崩裂。**结论** 与其他处理组相比, 采用 B6 膜能较好地保持无核白葡萄的贮藏品质, 且具有较好的降解效果。

关键词: BioSuee 膜; 无核白葡萄; 贮运; 降解

中图分类号: TS206.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)15-0077-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.15.009

Effect of BioSuee Film on Grape Quality and Its Degradation Performance

LIU Qing-zhu¹, LU Fan¹, TIAN Quan-ming², DU Yu-xing¹, WEI Jia², MA Hui-shi³, WU Bin²

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830001, China; 2. Institute of Storage and Processing of Agricultural Products, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830001, China; 3. Changzhou Blikey Biomaterials Technology Co., Ltd., Jiangsu Changzhou 213200, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the preservation effects of BioSuee film on postharvest quality of fresh grape and the degradation property of the film during storage, and screen out BioSuee film of good preservation and degradation effects. Thompson seedless grapes of Xinjiang were packed with BioSuee films (B4, B5, B6) and PE film, and stored at (15±1) °C for 14 days. All kinds of films were placed in natural condition and soil for 140 days for observation. By analyzing physiological quality of grapes, gas composition in packaging film and degradation of packaging film, the effects of BioSuee film on grape storage quality and its degradation were discussed. The postharvest quality of grape could be

收稿日期: 2021-11-15

基金项目: 国家自然科学基金 (31860460); 国家重点研发计划 (2018YFD0401302)

作者简介: 刘清竹 (1998—), 男, 硕士生, 主攻食品加工与安全。

通信作者: 吴斌 (1973—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为果实采后生理与分子生物学。

maintained well by all BioSuec films. The degradation rates of B4, B5 and B6 packaging film groups were 84.7%, 81.22% and 92.8%, respectively. At the end of storage, the weight loss rate and decay rate of B6 film group were 7.62% and 8.8%, respectively, which were only 75.37% and 28.33% of PE storage group. The soluble solid content and hardness of the Thompson seedless grape were 18.8% and 4.94 N, which were 20.44% and 10.46% higher than those of PE storage group, respectively. In the middle and late period, the CO₂ content (volume fraction) of grade packaged with B6 film remained in the range of 3.5%-4%, and the O₂ content (volume fraction) fluctuated in the range of 16.6%-16.7%. At the end of degradation, the weight loss rate and elongation at break of B6 film in soil were 12.64% and 6.84%, respectively. The surface of B6 film was obviously broken and cracked from the observation of morphology and microstructure studies. Compared with other treatment groups, B6 film can better maintain the storage quality of Thompson seedless grape and has more excellent degradation effect.

KEY WORDS: BioSuec film; Thompson seedless grape; storage and transportation; degradation

农产品是食品的主要来源, 由于大部分农产品的水分含量较高, 因此易遭受微生物的侵害。我国每年有 20%~30% 的农产品腐烂, 这造成了很大的经济损失^[1]。为了减小农产品的腐烂率, 常使用薄膜包装作为农产品保鲜的一种方式, 它具有一定的选择透过性, 具有延长货架期等作用^[2-3]。由于聚乙烯(PE)膜和聚偏二氯乙烯膜(PVDC)的吹膜工艺较成熟、价格低廉, 因此它们成为市面应用较广泛的保鲜膜^[4-6]。这 2 种保鲜薄膜材料虽然具有一定的保鲜效果, 但都不具备抗菌性和生物可降解性, 随意丢弃会对环境造成严重的污染, 直接威胁人们的身体健康^[7]。中国作为世界最大的塑料生产国, 截至 2019 年, 我国的塑料薄膜年生产量达到 115 万 t, 使用量达到 70 万 t, 约占生产总量的 61%^[8-9]。目前, 关于可降解又具有保鲜功能的包装膜的研究较少, 因此急需研制一种安全、高效、环保的保鲜包装材料。

BioSuec 膜是一种可调控的淀粉基生物降解包装材料, 在可降解的基础上添加等比例的硅酸盐材料, 使 BioSuec 膜具有适宜的透气性, 以及抑菌保鲜的效果^[10-11]。许耀辉等^[12]采用不同厚度、材质的 BioSuec 膜对库尔勒香梨货架期品质的研究表明, BioSuec 膜能较好地抑制香梨的腐烂进程, 维持其感官品质。将香芹酚、肉桂酸甲酯和草莓浆果组合制备可降解膜, 在相同环境和时间下储存, 使用该膜包装的草莓的外观颜色鲜艳, 能够明显地抑制草莓硬度的下降, 降低腐烂率^[13]。将 Nisin、纳他霉素和溶菌酶添加到乳清蛋白中制得可降解膜, 该膜对乳酸链球菌和溶菌酶有很好的抑制效果^[14]。

目前, 鲜有 BioSuec 膜应用于葡萄保鲜及其可降解性能等方面的研究。文中以无核白葡萄为实验材料, 采用不同厚度的 BioSuec 膜包装, 以模拟电商物流运输, 研究贮运过程中 BioSuec 膜对无核白葡萄品质的影响, 及其贮藏后期的降解性能, 旨在探索一种绿色、高效、环保的保鲜包装材料。

1 实验

1.1 材料与试剂

用于保鲜实验的无核白葡萄于 2021 年 8 月采于乌鲁木齐市北城果岭星火都市农业示范基地, 采后立即运回乌鲁木齐市格瑞德保鲜科技公司冷库中, 置于 4 °C 下预冷 24 h, 选择果梗翠绿、无机械损伤、无病虫害的葡萄进行不同包装处理。

用于降解实验的无核白葡萄于 2021 年 4 月购于乌鲁木齐市九鼎农贸市场, 购买后立即运回新疆农业科学院, 选择成熟度一致、无机械损伤、无病虫害的葡萄进行不同包装处理。实验用土壤采购于乌鲁木齐市明珠花卉市场。

BioSuec 膜由新疆农业科学院与常州百利基生物科技有限公司共同研发生产。PE 保鲜膜购于乌鲁木齐市海鸿国际农贸批发市场。按厚度将 BioSuec 膜分为 3 种: 厚度为 40 μm, 记为 B4; 厚度为 50 μm, 记为 B5; 厚度为 60 μm, 记为 B6。3 种 BioSuec 膜均具有保鲜和降解功能。

1.2 仪器设备

主要仪器设备: GY-4 硬度计, 艾德堡仪器有限公司; PAL-1 数显糖度计, 日本 Atago 公司; CR-10 色差仪, 柯尼卡美能达控股公司; DELTA 分析天平, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; JSM-7610FPlus 场发射扫描电镜显微镜, 捷欧路(北京)科贸有限公司; Acs-Jx 型万能试验机, 济南辰鑫试验机制造有限公司。

1.3 处理方法

1) 保鲜试验。挑选果梗翠绿、无病虫害、无机械损伤的葡萄, 分别采用 PE 膜、B4 膜、B5 膜、B6 膜等对葡萄进行包装, 每个包装袋葡萄的质量约为 0.5 kg, 每组进行 3 个平行实验, 将包装好的葡萄置于 (15±1) °C 环境下贮藏 14 d, 每 2 d 取一次样。

2) 降解试验。分别采用 PE 膜、B4 膜、B5 膜、B6 膜等对葡萄进行包装, 每个包装袋葡萄质量约为 0.5 kg, 每个处理组进行 3 个平行实验。重复上述操作, 将已经包装葡萄的包装袋一部分放置于土壤中, 另一部分置于自然环境下贮藏 140 d, 每 14 d 取一次样。

1.4 相关指标测定

1.4.1 O₂、CO₂ 浓度的测定

利用 Check Point III 便携式顶空分析仪, 测定不同处理组包装袋内 CO₂ 和 O₂ 的含量, 每个处理重复 3 次。

1.4.2 果实质量损失率的测定

采用称量法测定果实的质量损失率。包装前后的质量差与包装前的质量之比, 即为葡萄的质量损失率, 以百分率表示。每个处理组进行 3 次平行测量。

$$\text{质量损失率} = \frac{\text{包装前质量} - \text{当天取样质量}}{\text{包装前质量}} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.3 果实腐烂率的测定

包装前腐烂果实的质量与贮藏之前果实的总质量之比, 即为葡萄的腐烂率, 以百分率表示。每个处理组进行 3 次平行测量。

$$\text{腐烂率} = \frac{\text{腐烂果质量}}{\text{果实总质量}} \times 100\% \quad (2)$$

1.4.4 果实硬度测定

果实硬度的测定参考彭新媛等^[14]的方法, 略有改动。每袋随机选择 15 个鲜食葡萄, 围绕果实的赤道部位, 测量果肉的硬度。

1.4.5 果实可溶性固形物含量的测定

果实可溶性固形物含量的测定参考颜廷才等^[15]的方法, 略有改动。将鲜食葡萄榨汁、摇匀, 取部分汁液测定其可溶性固形物 (TSS) 含量, 单位为%。

1.4.6 果实可滴定酸含量的测定

参照曹建康等^[16]的方法, 测定果实的可滴定酸 (TA) 含量。

1.4.7 果实色度的测定

果实色度采用 CR-10 色差仪进行测定。每次随机选取 5 粒果实, 对果实阴阳面的色度进行测定, 记录 L^* , a^* , b^* 值。

1.4.8 不同包装膜质量损失率测定

将薄膜裁剪为长度 50 mm、宽度 40 mm 的样品, 用蒸馏水洗净, 经真空干燥后进行称量。重复该操作, 按式 (3) 计算不同降解处理后样品的质量损失率。

$$\text{质量损失率} = \frac{\text{包装前质量} - \text{当天取样质量}}{\text{包装前质量}} \times 100\% \quad (3)$$

1.4.9 膜形态分析

用场发射扫描电镜显微镜观察在土壤和自然环

境中降解前后不同种类包装膜的微观结构变化情况, 操作条件: 加速电压为 40 kV, 放大倍数为 1 000。

1.4.10 膜的断裂伸长率

利用 Acs-Jx 型万能试验机对 B4 膜、B5 膜、B6 膜、PE 膜的力学性能进行表征, 参照 GB 1040.3—2006 测试。将样品固定在试验机上, 初始距离为 50 mm, 拉伸速度为 50 mm/min, 每种样品测试 3 次, 取其平均值, 并计算断裂伸长率^[17]。

1.5 数据分析

使用 GraphPad 8.0 软件作图, 采用 SPSS 23.0 进行数据分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 不同包装材料对气体成分的影响

由图 1—2 可知, 不同包装膜均有一定的气调作用, 且气体成分差异较大, 具有不同的气调水平。随着贮藏时间的增加, PE 膜中 O₂ 的体积分数在 20.6%~18.4% 间上下波动, 低于空气中 O₂ 的体积分数; 在贮藏 0~4 d 时, PE 膜中 CO₂ 的体积分数呈缓慢上升趋势, 在贮藏第 4 d 至贮藏结束时二氧化碳含量处于平衡状态。B4 膜在贮藏 0~6 d 时, O₂ 含量出现缓慢下降趋势; 在贮藏 6~8 d 时, O₂ 含量出现快速下降趋势; 在贮藏 8 d 后, 处于平衡状态, O₂ 的体积分数维持在 18.3%~17.9% 间; CO₂ 整体呈现上升趋势, 在贮藏 10 d 后达到平衡状态。B5 膜在贮藏 0~12 d 时, O₂ 含量呈现快速下降的趋势, 在贮藏 12 d 时达到平衡状态, 在 17.2%~17.3% 间波动; CO₂ 含量呈现上升趋势, 在贮藏 4 d 时达到平衡, 在 3%~3.5% 间波动。B6 膜中 O₂ 的含量呈现下降的趋势, 在贮藏 10 d 后达到平衡, 在 16.6%~16.7% 间波动; CO₂ 含量呈现上升趋势, 在贮藏 4 d 时达到平衡, 在 3.5%~4% 间波动。

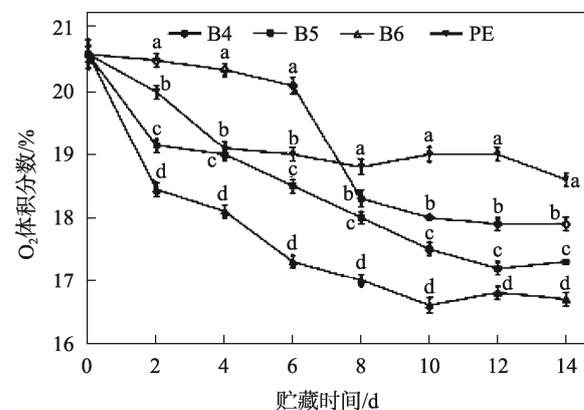


图 1 不同包装膜内 O₂ 浓度的变化情况
Fig.1 Change of O₂ concentration in different packaging films

注: a—d 表示显著性差异程度。

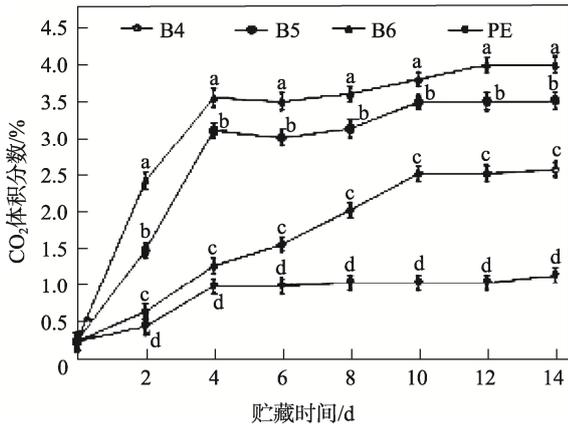


图2 不同包装膜内 CO₂ 浓度的变化情况
Fig.2 Change of CO₂ concentration in different packaging films
注: a—d 表示显著性差异程度。

2.2 不同包装材料对无核白葡萄质量损失率及腐烂率的影响

质量损失率是评价葡萄品质变化的重要指标之一^[18]。由图3可知,各处理组无核白葡萄果实的质量损失率均呈现上升趋势;在贮藏2 d时,处理组之间无明显差异;在贮藏4~8 d时,各处理组果实出现了显著性差异 ($P < 0.05$);在贮藏8 d至结束时, B6组葡萄果实的质量损失率相较于PE膜出现显著性差异 ($P < 0.05$), B4、B5组葡萄果实的质量损失率无明显差异 ($P > 0.05$);在贮藏结束时, B6组果实的质量损失率相较于PE组果实下降了24.62%。由此可知,采用B6包装可以有效降低无核白葡萄果实的质量损失率。

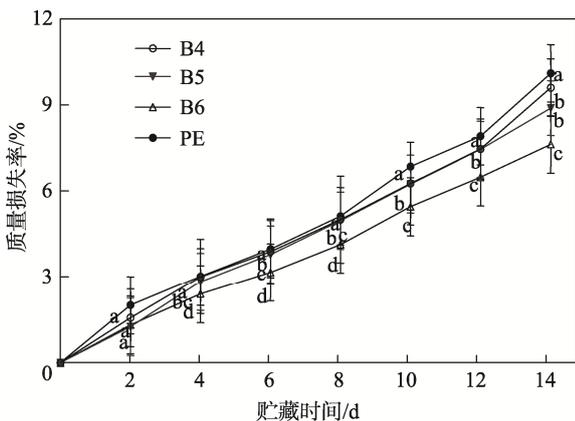


图3 不同包装膜对无核白葡萄质量损失率的影响
Fig.3 Effect of different packaging films on weight loss rate of Thompson seedless grape
注: a—d 表示显著性差异程度。

果实的腐烂率是影响其商业价值的重要指标之一。由图4可知,在贮藏2 d时,各处理组果实均未出现明显的腐烂现象;随着贮藏时间的增加,各处理

组葡萄果实出现明显的腐烂现象,且整体呈上升趋势;B6组果实腐烂率的上升趋势相对较缓慢,PE组果实腐烂率的上升速率较快,B4组、B5组次之;在整个贮藏期间,各处理组葡萄果实的腐烂率均呈现显著性差异 ($P < 0.05$);在贮藏结束时, B6组葡萄果实的腐烂率相较于PE组降低了71.82% ($P < 0.05$)。结果表明, B6组可以有效维持葡萄的采后品质,抑制果实腐烂率的上升。

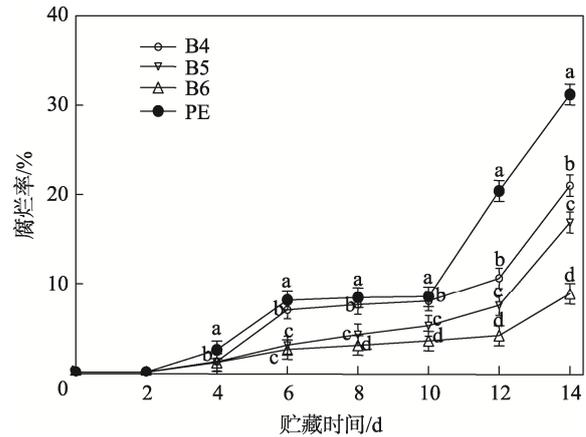


图4 不同包装膜对无核白葡萄腐烂率的影响
Fig.4 Effect of packaging film on decay rate of Thompson seedless grape
注: a—d 表示显著性差异程度。

2.3 不同包装材料对无核白葡萄硬度、可溶性固形物及可滴定酸的影响

硬度是评价葡萄果实衰老程度及品质变化的重要指标之一^[19]。葡萄果实的硬度随着贮藏时间的延长逐渐降低(图5),这是由果实的蒸腾作用和呼吸作用,营养物质和细胞壁发生降解,细胞膨压不断下降所致^[20]。在整个贮藏期间, BioSuec膜包装处理组葡萄的硬度均高于PE组葡萄的硬度。在贮藏0~10 d期间,各处理组果实的硬度均出现下降的趋势,且无显著性差异 ($P > 0.05$)。在贮藏10 d至结束时, PE组果实的硬度出现了快速下降的现象,而B6组果实的下降速度相对最慢。这是由于B6中添加了硅酸盐等材料,且B6膜的厚度比其他膜厚,使其具有更好的保水性,延缓了葡萄果实的衰老速度。由此可见, B6膜可以更有效地延缓葡萄果实硬度的下降。

可溶性固形物(TSS)是评价果实品质的重要指标之一。由图6可知,在贮藏0~10 d时,不同包装处理组葡萄果实的可溶性固形物均出现快速下降趋势,其中B6组果实的可溶性固形物含量下降得较慢。这是由于葡萄在贮藏过程中通过呼吸作用吸收了果实中的糖类等营养物质,从而导致TSS含量下降^[21-22]。PE组葡萄果实的TSS含量下降得最快。在贮藏8 d至结束时, PE组果实的TSS含量呈现相对平缓的状态, B4、B5和B6组在贮藏12 d后同样出

现此现象。在贮藏结束时, B6 组果实的 TSS 含量相较于贮藏前下降了 21.7%, PE 组果实的 TSS 含量下降了 31.58%。由此可见, B6 膜可延缓葡萄果实 TSS 的下降, 较好地维持葡萄果实的品质。

可滴定酸含量指果实中游离的酸含量。可滴定酸的主要成分为酒石酸^[23], 酸是葡萄风味中不可缺少的物质。由图 7 可知, 随着贮藏时间的增加, 葡萄果实的 TA 含量呈下降趋势。这是由于葡萄果实在贮藏过程中, 果实中的有机酸通过代谢转化为其他物质。在贮藏前期 (0~6 d), 不同包装处理组无核葡萄果实的 TA 含量均出现快速下降趋势。其中, B6 组果实的 TA 含量明显高于其他处理组; 在贮藏 6 d 至结束时, 不同包装处理组果实 TA 含量的下降趋势相对变缓, B6 组果实的 TA 含量仍显著高于 PE 贮藏组 ($P<0.05$)。在贮藏结束时, B6 组果实的 TA 含量比 PE 组果实的 TA 含量高 53.63%。由此可见, BioSucee 膜能有效抑制无核白葡萄中 TA 含量的下降, 其中 B6 膜的效果最好。

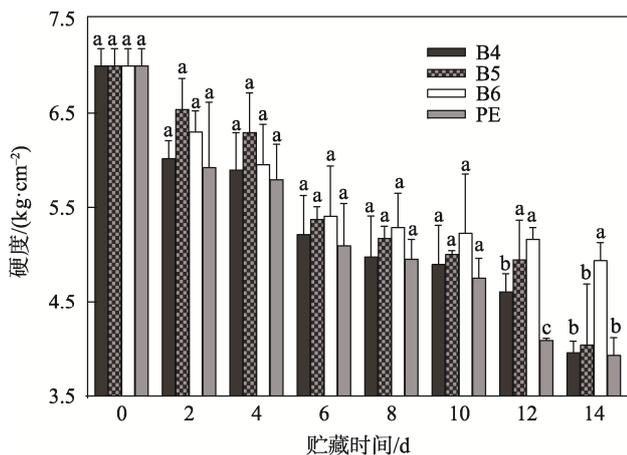


图 5 包装膜对无核白葡萄硬度的影响
Fig.5 Effect of packaging film on hardness of Thompson seedless grape
注: a—d 表示显著性差异程度。

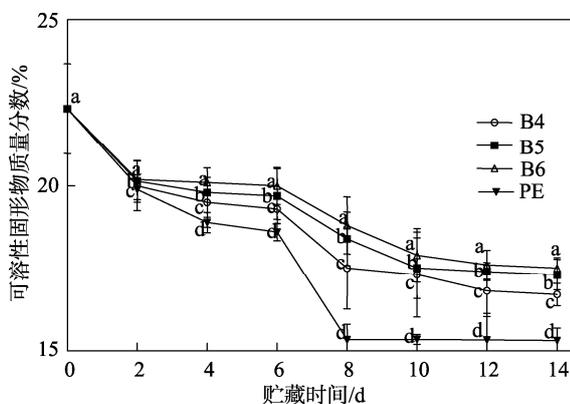


图 6 包装膜对无核白葡萄可溶性固形物含量的影响
Fig.6 Effect of packaging film on soluble solids content of Thompson seedless grape
注: a—d 表示显著性差异程度。

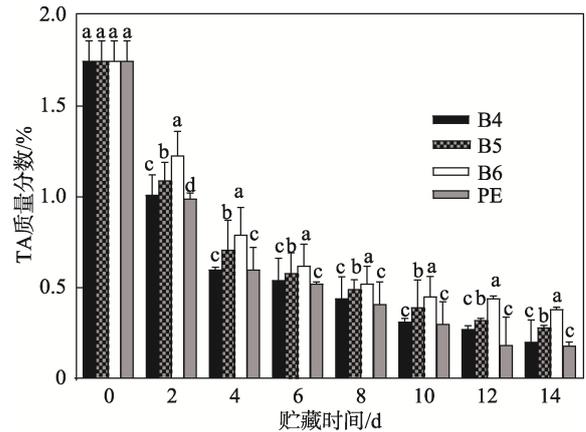


图 7 包装膜对无核白葡萄可滴定酸含量的影响
Fig.7 Effect of packaging film on titratable acid content of Thompson seedless grape
注: a—d 表示显著性差异程度。

2.4 不同包装材料对无核白葡萄色泽的影响

葡萄的色泽是评价果实成熟程度的重要指标^[24], 常采用色空间 L^* 、 a^* 、 b^* 表示。其中, a^* 代表红绿值, a^* 值从负值到正值表示果实由绿到红。由表 1 可知, 无核白葡萄的 a^* 值在贮藏过程中整体呈上升趋势, 不同包装处理对 a^* 值的影响有所差异; 与 PE 组相比, 采用 BioSucee 膜包装均能抑制果实 a^* 值的上升。其中, B6 组果实的 a^* 值在贮藏前 6 d 呈缓慢上升趋势, 在贮藏 6 d 时 a^* 值仅约为 -4.5; 在贮藏 6~14 d 时, a^* 值迅速上升; 在贮藏结束时, B6 组葡萄果实的 a^* 值与 PE 组果实相比下降了 85.35%。B4 和 B5 组葡萄果实在整个贮藏期内的 a^* 值均呈现快速上升趋势; 在贮藏结束时, B4 和 B5 组葡萄的 a^* 值相较于 PE 组分别下降了 75.26% 和 81.64%。综上所述, BioSucee 膜对延缓葡萄果实的转色效果比较显著, 且 B6 膜的效果最佳。

采用 L^* 表示葡萄果实表面色泽的亮度。 L^* 由大到小表示果实由亮变暗。由表 1 可知, 随着贮藏时间的增加, 无核白葡萄果实的 L^* 呈平缓下降的趋势, 整体上无显著差异 ($P<0.05$)。由此可见, 不同包装膜对无核白葡萄 L^* 值的影响不大。

采用 b^* 值表示葡萄果实表面的黄蓝程度, b^* 由负值到正值表示果实转黄的程度。由表 1 可知, 不同包装处理组的葡萄果实在贮藏过程中的 b^* 值均呈现缓慢上升的趋势, 其中 B5 和 B6 组葡萄的 b^* 明显小于 B4 和 PE 组的, B4 组和 PE 组的 b^* 值变化不大。在贮藏结束时, B6 组葡萄的 b^* 值比 B4 和 PE 组葡萄的 b^* 值分别减少了 6.93% 和 9.35%。由此可见, 采用 B5 和 B6 可以有效抑制葡萄果实表面转黄, 且 B6 包装材料的效果最好。

表 1 包装膜对无核白葡萄色泽的影响
Tab.1 Effect of packaging film on color of Thompson seedless grape

指标	处理组	贮藏时间/d							
		0	2	4	6	8	10	12	14
L^*	B4	26.31±2.66 ^a	22.9±2.04 ^a	22.03±1.24 ^a	21.92±2.1 ^c	21.92±1.06 ^a	21.22±1.73 ^a	20.3±0.79 ^a	20.10±2.86 ^a
	B5	26.31±2.66 ^a	22.46±1.22 ^a	22.4±0.95 ^a	22.73±0.68 ^b	22.31±0.68 ^a	21.87±1.30 ^a	20.25±0.54 ^a	20.58±2.50 ^a
	B6	26.31±2.66 ^a	25.29±1.19 ^a	24.14±1.51 ^a	22.94±3.51 ^a	22.82±3.39 ^a	21.45±3.39 ^a	21.01±0.28 ^a	20.94±0.41 ^a
	PE	26.31±2.66 ^a	23.77±2.73 ^a	22.23±0.39 ^a	21.91±0.25 ^d	21.08±0.52 ^a	20.98±0.52 ^a	20.13±3.59 ^a	20.01±2.38 ^a
a^*	B4	-4.74±0.16 ^a	-4.11±0.17 ^b	-3.49±0.21 ^b	-3.35±0.22 ^b	-2.95±0.31 ^c	-2.88±0.64 ^b	-2.47±0.47 ^d	-1.90±0.71 ^b
	B5	-4.74±0.16 ^a	-4.50±0.58 ^c	-3.62±0.14 ^b	-3.48±0.37 ^b	-3.36±0.18 ^b	-3.21±0.16 ^c	-3.04±0.56 ^c	-2.56±0.23 ^c
	B6	-4.74±0.16 ^a	-4.71±0.26 ^d	-4.52±0.28 ^d	-4.24±0.27 ^c	-4.19±0.27 ^c	-4.16±0.19 ^d	-3.40±0.09 ^d	-3.21±0.28 ^d
	PE	-4.74±0.16 ^a	-3.06±0.46 ^a	-2.79±0.67 ^a	-2.73±0.12 ^a	-2.72±0.16 ^a	-2.70±0.32 ^a	-1.6±0.15 ^a	-0.47±0.73 ^a
b^*	B4	8.75±0.37 ^a	10.63±0.86 ^c	11.16±0.19 ^c	12.38±1.94 ^c	12.41±0.25 ^c	12.43±0.52 ^c	13.23±0.84 ^c	13.85±0.98 ^c
	B5	8.75±0.37 ^a	10.01±1.07 ^b	10.17±1.07 ^b	10.46±0.56 ^b	11.68±0.87 ^b	12.10±1.49 ^b	13.07±0.91 ^b	13.77±2.65 ^b
	B6	8.75±0.37 ^a	9.81±0.56 ^a	9.86±0.66 ^a	10.28±1.79 ^a	11.14±1.95 ^a	12.32±0.42 ^a	12.66±0.35 ^a	12.89±1.08 ^a
	PE	8.75±0.37 ^a	12.69±0.71 ^b	12.90±0.71 ^b	12.93±0.77 ^c	13.07±0.24 ^c	13.13±0.24 ^c	14.02±3.02 ^c	14.22±0.98 ^c

注：a—d 表示显著性差异程度。

2.5 不同包装材料降解后质量损失率的变化

包装材料的质量损失率是评价降解性能指标之一。由图 8—9 可知，BioSuec 膜在土壤和自然等 2 个降解环境中，包装膜的质量损失率总体呈现先下降后上升的趋势。这是由于 BioSuec 膜的原料为淀粉基，在降解过程中吸收了空气、土壤中的水分，导致其内部结构被破坏，使膜降解^[25]。其中，由于 B4 膜较薄，因此在土壤和自然环境中与同时期其他处理组相比吸水量更大。在降解 42 d 后，B4 膜出现了质量下降的情况，但降解 140 d 时，在土壤环境和自然环境中 B4 膜的质量均比原始质量大。B6 组、B5 组与 B4 组一样，同样是在 42 d 后出现了质量下降的情况，其

中 B6 组的质量损失率变化较大。在 140 d 时，在土壤环境和自然环境中 B6 组的质量损失率相较于 PE 组分别提高了 15.34%和 10%。在整个降解过程中，PE 膜在 2 个降解环境下的质量损失率均无明显变化 ($P<0.05$)。与 PE 膜相比，BioSuec 膜有明显的降解效果，且 B6 膜在土壤环境下的降解效果最好。

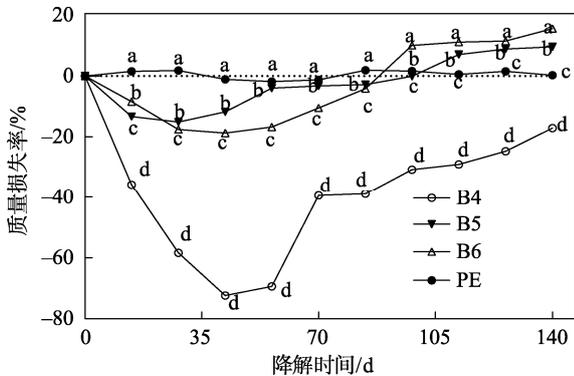


图 8 不同包装膜在土壤环境降解中质量损失率的变化情况
Fig.8 Effects of packaging film on weight loss rate in soil
注：a—d 表示显著性差异程度。

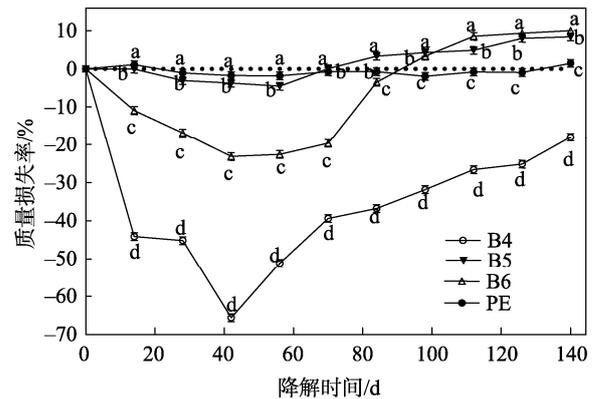


图 9 包装膜在自然环境降解中质量损失率的变化情况
Fig.9 Change of weight loss rate of packaging film during degradation in natural environment
注：a—d 表示显著性差异程度。

2.6 不同包装材料降解后形态结构分析

包装膜的表面形态和微观结构是直观反映包装膜降解程度的重要指标之一。由图 10—11 可知，PE 膜在土壤和自然环境中的表面形态和微观结构完好，基本未发生明显的崩解和破损情况。不同厚度

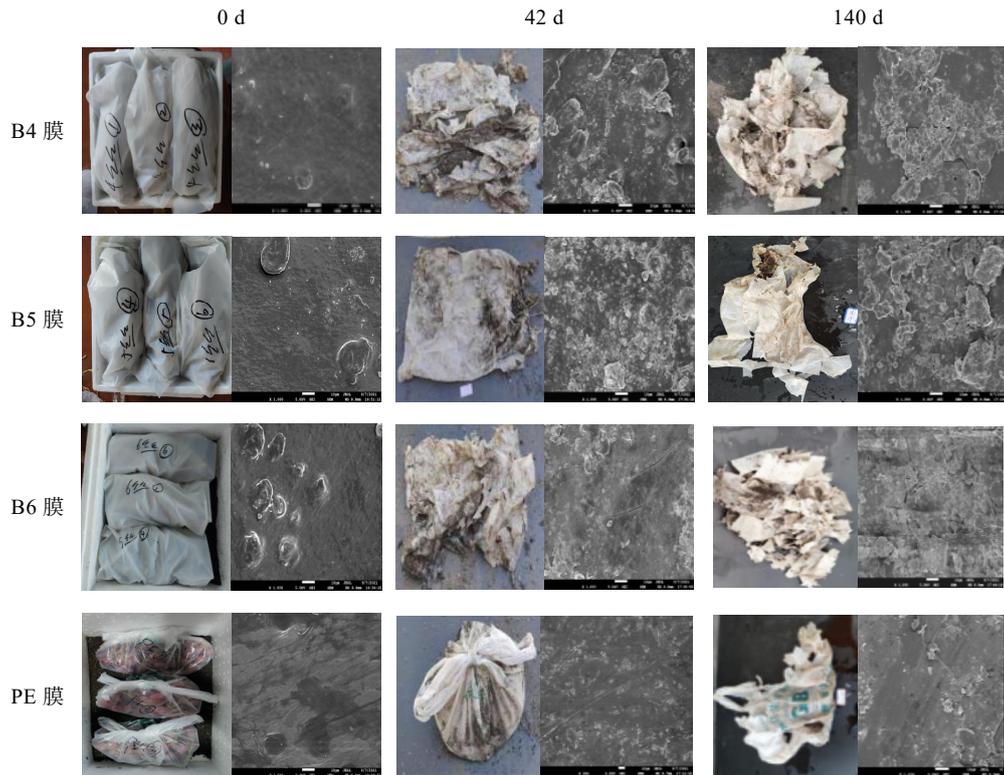


图 10 包装膜在土壤环境中降解后表面形态和微观结构的变化
Fig.10 Change of surface morphology and microstructure of packaging film after degradation in soil environment

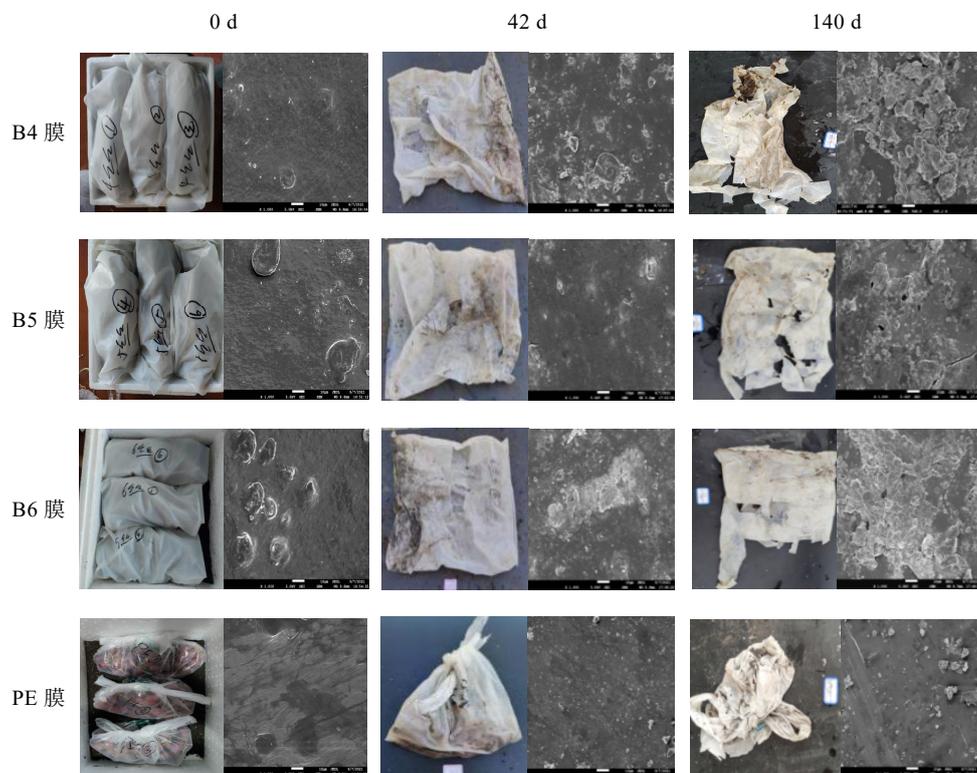


图 11 包装膜在自然环境中降解后表面形态和微观结构的变化
Fig.11 Change of surface morphology and microstructure of packaging film in natural environment

的 BioSuce 膜在整个降解过程中,表面形态和微观结构随着降解时间的增加均出现了明显的破损现象。在降解 42 d 时, B4、B6 膜表面在土壤环境和自然环境中均出现了明显的破损现象,而 B5 膜的微观结构在自然环境中未出现明显的破损现象。其中, B6 膜的表面形态在土壤环境中比其他 BioSuce 膜的破损现象更明显,且微观结构显示其出现了约 7.75 μm 的裂缝。在降解 140 d 时,在土壤环境中 BioSuce 膜的表面形态均已破损,且变成大片不规则形状,部分土壤中仍有残存的膜样品。在包装膜的微观结构中,各处理组薄膜均出现了明显的破损现象,且 B6 膜的撕裂程度较大,裂缝数量较多,结构组织被完全破坏。在自然环境中,各处理组薄膜的微观结构均出现不同程度的破裂现象,但表面形态与土壤环境相比破碎程度不明显,随着降解时间的增加, BioSuce 膜变得更薄、更脆、易撕烂。综上所述, BioSuce 膜在土壤环境中的降解效果较好,且 B6 组的降解效果相对最佳。

2.7 不同包装材料降解后对断裂伸长率的影响

包装膜的断裂伸长率是直观反映膜的韧性和力学性能最重要的指标^[26]。由图 12—13 可知,不同包装膜在降解前的断裂伸长率不同。在整个降解过程中,在土壤环境和自然环境中的 PE 膜和 BioSuce 膜的断裂伸长率均呈现下降趋势; B6 组在降解前 42 d,断裂伸长率下降得最快,在降解第 42 天时,土壤环境和自然环境中 B6 膜的断裂伸长率分别比降解前下降了 90.55%和 85.48%。在贮藏 42 d 至结束时, B6 膜的断裂伸长率的下降趋势较为缓慢。在贮藏结束时, B6 膜的断裂伸长率在土壤环境和自然环境中比 PE 膜的断裂伸长率分别下降了 82.28%和 81.87%。由此可见,相较于 PE 膜, BioSuce 膜无论在土壤环境还是在自然环境中都有很好的降解效果,其中在土壤环境中 B6 膜的降解效果相对最好。

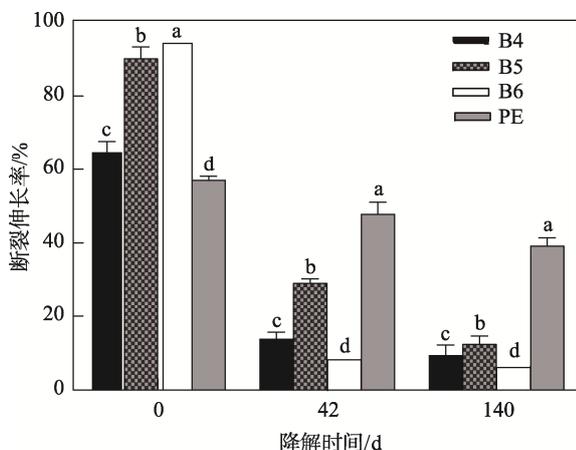


图 12 不同包装膜在土壤环境中断裂伸长率的变化情况
Fig.12 Change of elongation at break of different packaging films in soil environment
注: a—d 表示显著性差异程度。

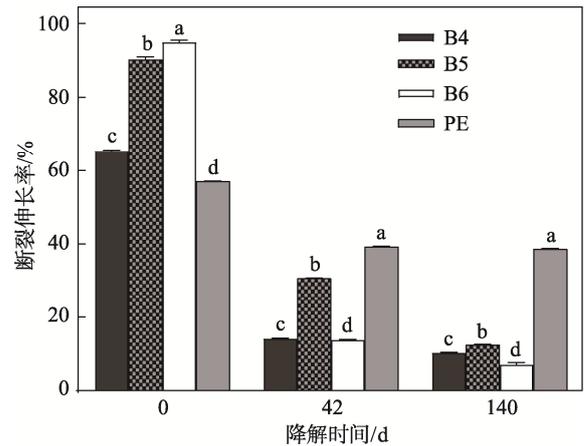


图 13 包装膜在自然环境中断裂伸长率的变化情况
Fig.13 Change of elongation at break of packaging film in natural environment
注: a—d 表示显著性差异程度。

3 讨论

通过对比不同厚度 BioSuce 膜与普通市售 PE 膜对无核白葡萄品质的影响及其降解性能,筛选出一种适合农产品贮藏保鲜及其降解性能较好的包装膜。结果表明, B6 膜不仅能较好地维持无核白葡萄果实的品质,它还具有较好的降解性能。这是由于 B6 膜添加了等比例的硅酸盐等材料,且厚度较大,具有一定的抑菌、抗菌作用,从而抑制葡萄出现病虫害和腐败菌,延缓了果实的腐烂。这与孟玉昆等^[27]研究 BioSuce 膜对“赛买提”杏采后贮运品质的结论一致。B6 膜可有效抑制葡萄果实 a^* 值的上升,延缓果实的转色速率。同时,由于在贮藏期间无核白葡萄为了维持自身的生命活动,会消耗果实中的水分和营养物质,导致无核白葡萄果实中的 TSS 含量快速下降。B6 膜可以有效维持无核白葡萄的 TSS 含量,减少果实营养物质的流失。那广宁等^[28]在无核白葡萄果实采后品质研究中发现,葡萄果实的 TSS 含量变化情况与文中一致。由于 PE 膜的透气性较差,易形成低浓度 O_2 环境,从而导致无核白葡萄进行无氧呼吸,产生大量的乙醇,影响葡萄原有的口感,降低了葡萄的商品价值。B6 膜能够更好地自发调节包装内的气体成分,包装内的 O_2 和 CO_2 的体积分数维持在 16.6%~16.7%和 3.5%~4%,此包装环境对葡萄的保鲜效果较好,能有效维持葡萄的商品性及食用安全性。张昭等^[29]利用气调微孔膜包装鲜食葡萄,通过微孔调节包装内的氧气,维持一个适宜葡萄贮藏的环境,有效提高了鲜食葡萄的贮藏品质。

由于 BioSuce 膜以淀粉基为原料,通过改变其热塑性、极性和疏水性,与烷烃结合成嵌入式合金;淀粉具有很强的吸水性^[30],导致降解前期保鲜膜的质量变大,质量损失率出现负值现象,这与胡慧^[31]等关于淀粉基可降解材料质量损失率的结论基本相似。实验

后期, 由于 B6 膜中的淀粉吸水, 且土壤和葡萄腐烂后产生的微生物对淀粉合金进行水解和吞噬, 造成淀粉合金结构直接瓦解, 从而导致其质量损失率上升, 且表面形态和微观结构出现大面积破裂和不规则的碎片, 使其更容易撕裂, 失去了原有的力学性能。由于土壤环境的湿度和温度相对恒定, 且含有大量微生物, B6 膜在土壤环境中比在自然环境中的降解效果更好。张研等^[32]探究了土壤微生物对淀粉的分解作用, 结果表明, 埋入土壤中淀粉糊的分解速度比放置于自然环境中的分解速度更快。PE 膜的主要基材为聚乙烯, 其稳定性较好, 长期埋入地下难以分解腐烂, 其降解效果较差。

4 结语

通过研究发现, 相较于普通市售 PE 膜, BioSuec 膜可以明显地延缓葡萄果实的转色进程, 降低果实的腐烂率, 延缓果实硬度的下降和水分散失, 保持果实的 TSS 含量和 TA 含量。通过研究膜的质量损失率、表面微观形态及断裂伸长率可知, 在土壤环境中 BioSuec 膜的降解性能较好。B6 膜可以更好地起到延长葡萄贮藏时间的作用, 而且其降解速度相对最快。此研究结果可为高效环保的农产品采后贮运保鲜材料的研究提供理论依据。

参考文献:

- [1] ZHAO Y, DAESCHEL M. Understanding the Research and Education Needs of the Oregon Fruit and Vegetable Industry[J]. Corvallis, Or: Oregon State University, Extension Service, 2002, 16(2): 25-26.
- [2] 程旺开, 周炜, 肖子龙. 羧甲基壳聚糖-柠檬醛保鲜纸对李子的抗菌保鲜效果研究[J]. 绵阳师范学院学报, 2020, 39(5): 64-67.
CHENG Wang-kai, ZHOU Wei, XIAO Zi-long. Study on Antibacterial Effect of Carboxymethyl Chitosan-Citral Preservation Paper on Plum[J]. Journal of Mianyang Teachers' College, 2020, 39(5): 64-67.
- [3] 刘莹, 王碧, 谢峰. 抗菌保鲜膜的研究进展[J]. 内江师范学院学报, 2014(6): 39-43.
LIU Ying, WANG Bi, XIE Feng. Research Progress of Antimicrobial Preservative Film[J]. Journal of Neijiang Normal University, 2014(6): 39-43.
- [4] 王爽爽, 于振菲, 孙文秀, 等. 熔融结晶过程中热历史对尼龙 6 多晶现象的影响[J]. 高分子材料科学与工程, 2014, 30(6): 64-67.
WANG Shuang-shuang, YU Zhen-fei, SUN Wen-xiu, et al. Effect of Thermal History on Polymorphism during Melt Crystallization of Nylon 6[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2014, 30(6): 64-67.
- [5] 梁晓红, 呼和, 王羽, 等. 乙烯-乙醇共聚物复合膜的力学、热学及阻隔性能研究[J]. 塑料科技, 2015, 43(6): 21-24.
LIANG Xiao-hong, HU He, WANG Yu, et al. Study on Mechanical, Thermal and Barrier Properties of EVOH Composite Films[J]. Plastics Science and Technology, 2015, 43(6): 21-24.
- [6] 王微山, 焦毅, 沈荣静, 等. 气相色谱-质谱法测定聚偏二氯乙烯膜中癸二酸二丁酯和乙酰柠檬酸三丁酯[J]. 塑料工业, 2019, 47(3): 97-100.
WANG Wei-shan, JIAO Yi, SHEN Rong-jing, et al. Determination of Dibutyl Sebacate and Tributyl O-Acetylcitrate in PVDC Film by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(3): 97-100.
- [7] 王羽, 云雪艳, 李见森, 等. PA/PE 复合膜对鲜切莴笋保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 343-347.
WANG Yu, YUN Xue-yan, LI Jian-sen, et al. Effect of PA/PE Composite Membrane on Preservation of Fresh-Cut Asparagus Lettuce[J]. Food Science, 2015, 36(24): 343-347.
- [8] 崔小明. 国内外聚乙烯醇的供需现状及发展前景[J]. 精细化工原料及中间体, 2012(4): 11-17.
CUI Xiao-ming. Supply and Demand Situation and Development Prospect of Polyvinyl Alcohol at Home and Abroad[J]. Fine Chemical Raw Materials and Intermediates, 2012, 10(4): 11-17.
- [9] 宁晓琴. 塑料包装行业发展现状及趋势分析[J]. 塑料包装, 2014, 24(3): 1-4.
NING Xiao-qin. Plastic Package Industry Development Status & Tendency Analysis[J]. Plastics Packaging, 2014, 24(3): 1-4.
- [10] 于瑞德. 一种生物降解地膜: 中国, 102475046A[P]. 2012-05-30.
YU Rui-de. Biodegradable Plastic Film: China, 102475046A[P]. 2012-05-30.
- [11] 王惠民. 生物促降剂: 中国, 101838403A[P]. 2010-09-22.
WANG Hui-min. Biological Health Promoters: China, 101838403A[P]. 2010-09-22.
- [12] 许耀辉, 王曼, 孟玉昆, 等. BioSuec 膜对库尔勒香梨货架期果实品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(7): 35-44.
XU Yao-hui, WANG Man, MENG Yu-kun, et al. Effects of BioSuec Films on Fruit Quality of Korla Fragrant Pears during Shelf Life[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(7): 35-44.

- 2021, 42(7): 35-44.
- [13] 曾少雯, 杜玮瑶, 邓琪琪, 等. 香芹酚淀粉复合膜对草莓保鲜的研究[J]. 农产品加工, 2018(20): 7-12.
ZENG Shao-wen, DU Wei-yao, DENG Qi-qi, et al. Coating Preservation of Strawberry with the Compound Film of Carvacrol and Acetylated Cassava Starch[J]. *Farm Products Processing*, 2018(20): 7-12.
- [14] 赵春燕, 王丹, 张颖. Nisin 及纳他霉素在冷却肉中的应用研究[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 140-143.
ZHAO Chun-yan, WANG Dan, ZHANG Ying. Applied Research of Nisin and Natamycin in Chilled Meat[J]. *Food Science and Technology*, 2009, 34(3): 140-143.
- [15] 彭新媛, 高晶, 王刚霞, 等. SO₂-ClO₂ 处理对木纳格葡萄采后贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 178-184.
PENG Xin-yuan, GAO Jing, WANG Gang-xia, et al. Effect of SO₂-ClO₂ Treatment on Postharvest Quality of 'Munage' Grape[J]. *Food Science*, 2014, 35(18): 178-184.
- [16] 颜廷才, 邵丹, 李江阔, 等. 1-MCP 对葡萄货架期间品质及挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 258-263.
YAN Ting-cai, SHAO Dan, LI Jiang-kuo, et al. Effects of 1-MCP on Quality and Volatile Components of Grapes during Shelf Life[J]. *Food Science*, 2015, 36(20): 258-263.
- [17] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 23-45.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experimental Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 23-45.
- [18] 张胜军, 冉文生, 李学颖, 等. 塑料薄膜拉伸专用夹头的设计与制作[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(19): 6516-6517.
ZHANG Sheng-jun, RAN Wen-sheng, LI Xue-ying, et al. National Center for Supervision and Inspection of Drainage Irrigation and Water Saving Equipment Product Quality, et al. Design and Development of Special Chunk for Plastic Film Stretching[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(19): 6516-6517.
- [19] ELWAHAB S M A, ELWAHAB W A A, KAMEL O T, et al. Using Safe Alternatives for Controlling Postharvest Decay, Maintaining Quality of Crimson Seedless Grape[J]. *World Applied Sciences Journal*, 2014, 31(7): 1345-1357.
- [20] GREEF J. Method and Device for Determining the Hardness/Elasticity and/or other Properties of Vegetables or Fruit[J]. *Official Gazette of the United States Patent & Trademark Office Patents*, 2003, 29(7): 145-147.
- [21] 赵云峰, 林瑜, 吴玲艳. 茄子果实采后软化过程中细胞壁组分及其降解酶活性的变化[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(10): 212-216.
ZHAO Yun-feng, LIN Yu, WU Ling-yan. Changes in Cell Wall Components and Cell Wall-Degrading Enzyme Activities of Postharvest Eggplant Fruits during Softening[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2012, 38(10): 212-216.
- [22] 集贤, 张平, 朱志强, 等. SO₂ 不同保鲜处理对醉金香葡萄贮藏效果的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(7): 1-9.
JI Xian, ZHANG Ping, ZHU Zhi-qiang, et al. Effects of Different SO₂ Preservation Treatments on "Zuijinxiang" Grape during Storage[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(7): 1-9.
- [23] 郭西智, 陈锦永, 顾红, 等. 葡萄果实着色影响因素及改进措施[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2016(5): 124-127.
GUO Xi-zhi, CHEN Jin-yong, GU Hong, et al. Influencing Factors and Improvement Measures of Grape Coloring[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2016(5): 124-127.
- [24] 裴英豪, 王云霞, 李浩浩, 等. '赤霞珠'葡萄果实中有机酸的积累规律[J]. 安徽农学通报, 2020, 26(21): 19-20.
PEI Ying-hao, WANG Yun-xia, LI Hao-hao, et al. Accumulation of Organic Acids in 'Caber Sauvignon' Grape Berries[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2020, 26(21): 19-20.
- [25] BOURTOOM T, CHINNAN M S. Preparation and Properties of Rice Starch-Chitosan Blend Biodegradable Film[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2008, 41(9): 1633-1641.
- [26] 张业聪. 甘油-明胶膜的制备及其性能研究[J]. 皮革与化工, 2015, 32(1): 3-6.
ZHANG Ye-cong. Preparation and Properties of Glycerin-Gelatin Film[J]. *Leather and Chemical Industry*, 2015, 32(1): 3-6.
- [27] 孟玉昆, 魏佳, 吴斌, 等. BioSuec 膜对“赛买提”杏采后贮运品质的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(13): 8-16.
MENG Yu-kun, WEI Jia, WU Bin, et al. Effects of BioSuec Films on the Post-Harvest Quality of "Saimaiti" Apricots during Storage and Transportation[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(13): 8-16.
- [28] 那广宁, 高聪聪, 纪海鹏, 等. 保鲜剂不同组合对无核白葡萄贮藏保鲜的影响[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 11-16.

- NA Guang-ning, GAO Cong-cong, JI Hai-peng, et al. Effects of Different Preservative Combinations on Preservation of Thompson Seedless Grape[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(1): 11-16.
- [29] 张昭, 田全明, 魏佳, 等. 气调微孔膜包装技术在鲜食葡萄贮运中的应用[J]. *包装工程*, 2021, 42(17): 76-87.
- ZHANG Zhao, TIAN Quan-ming, WEI Jia, et al. Application of Modified Air Microporous Film Packaging Technology in Storage and Transportation of Fresh Table Grapes[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(17): 76-87.
- [30] 王玮玥, 李斯屿, 王冬, 等. 黄烷-3-醇氧化聚合对鲜食葡萄贮藏期褐变的影响[J]. *果树学报*, 2018, 35(9): 1117-1127.
- WANG Wei-yue, LI Si-yu, WANG Dong, et al. Influence of Flavan-3-Ol Oxidation Polymerization on the Browning of Table Grapes during Storage[J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(9): 1117-1127.
- [31] 胡慧. 淀粉基可生物降解材料的制备与性能研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2020: 28-30.
- HU Hui. Study on Preparation and Properties of Starch-Based Biodegradable Materials[D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2020: 28-30.
- [32] 张妍, 于鹏, 王婧婧. “探究: 土壤微生物对淀粉的分解作用”实验的改进[J]. *中学生物学*, 2021, 37(5): 44-46.
- ZHANG Yan, YU Peng, WANG Jing-jing. Improvement of "Inquiry: Decomposition of Starch by Soil Microbes" Experiment[J]. *Middle School Biology*, 2021, 37(5): 44-46.

责任编辑: 彭颀